

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
13. Juni 2002 (13.06.2002)

PCT

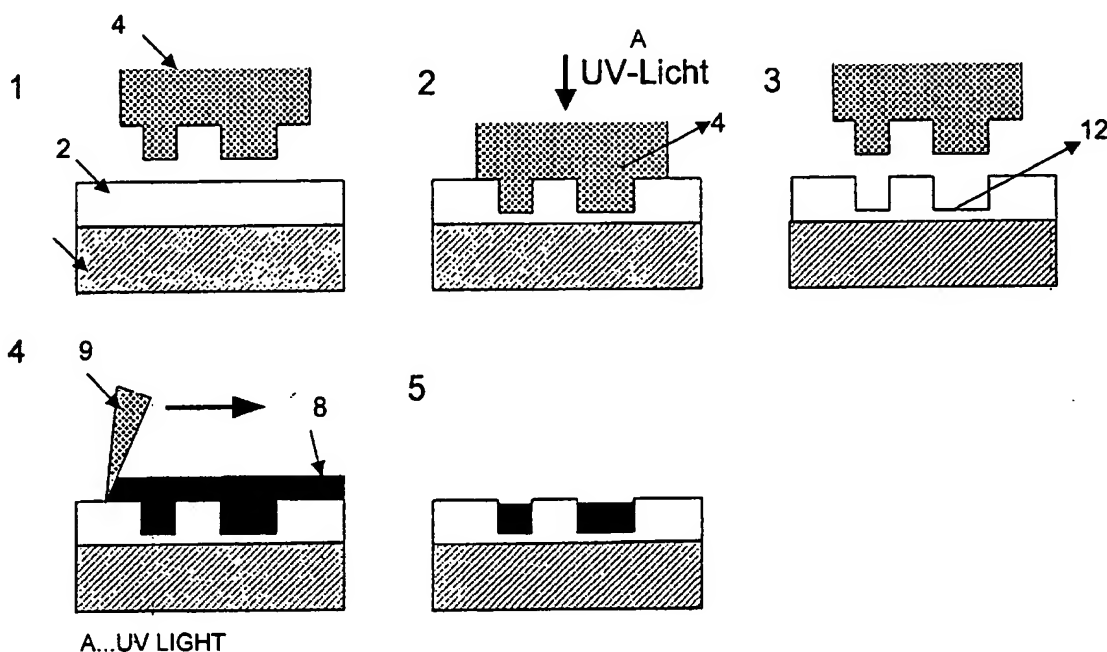
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 02/47183 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: H01L 51/40, (72) Erfinder; und  
B29C 37/00 (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BERNDS, Adolf  
[DE/DE]; Adalbert-Stifter-Str. 11, 91083 Baiersdorf  
(DE). CLEMENS, Wolfgang [DE/DE]; Kornstr. 5, 90617  
Puschendorf (DE). HARING, Peter [DE/DE]; Bahnhofstr.  
162, 52146 Würselen (DE). KURZ, Heinrich [AT/DE];  
II. Rote Haag Weg 1 b, 52076 Aachen (DE). VRATZOV,  
Borislav [BG/DE]; Wirichsbongardstr. 24, 52062 Aachen  
(DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE01/04611
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
7. Dezember 2001 (07.12.2001)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGE-  
SELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München  
(DE).
- (30) Angaben zur Priorität:  
100 61 297.0 8. Dezember 2000 (08.12.2000) DE
- (81) Bestimmungsstaaten (national): JP, US.
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE];  
Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).
- (84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT,  
BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC,  
NL, PT, SE, TR).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: ORGANIC FIELD-EFFECT TRANSISTOR, METHOD FOR STRUCTURING AN OFET AND INTEGRATED CIR-  
CUIT

(54) Bezeichnung: ORGANISCHER FELD-EFFEKT-TRANSISTOR, VERFAHREN ZUR STUKTURIERUNG EINES OFETS  
UND INTEGRIERTE SCHALTUNG



(57) Abstract: The invention relates to an organic field-effect transistor, to a method for structuring an OFET and to an integrated circuit with improved structuring of the functional polymer layers. The improved structuring is obtained by introducing, using a doctor blade, the functional polymer in the mold layer in which recesses are initially produced by imprinting.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 02/47183 A1

**Erklärungen gemäß Regel 4.17:**

- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii) für die folgenden Bestimmungsstaaten JP, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR)
- Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv) nur für US

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht

- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

## Beschreibung

Organischer Feld-Effekt-Transistor, Verfahren zur Strukturierung eines OFETs und integrierte Schaltung

5

Die Erfindung betrifft einen Organischen Feld-Effekt-Transistor, ein Verfahren zur Strukturierung eines OFETs und eine integrierte Schaltung mit verbesserter Strukturierung der Funktionspolymerschichten.

10

Organische integrierte Schaltkreise (integrated plastic circuits) auf der Basis von OFETs werden für mikroelektronische Massenanwendungen und Wegwerf-Produkte wie Identifikations- und Produkt-„tags“ gebraucht. Ein „tag“ ist z.B. ein elektronischer Streifencode, wie er auf Waren angebracht wird oder auf Koffern. OFETs haben ein weites Einsatzgebiet als RFID-tags: radio frequency identification - tags, die nicht nur auf der Oberfläche angeordnet sein müssen. Bei OFETs für diese Anwendungen kann auf das exzellente Betriebsverhalten der Silizium-Technologie verzichtet werden, aber dafür sollten niedrige Herstellungskosten und mechanische Flexibilität gewährleistet sein. Die Bauteile wie z.B. elektronische Strichkodierungen, sind typischerweise Einwegeprodukte und sind wirtschaftlich nur interessant, wenn sie in preiswerten Prozessen hergestellt werden.

25

Bisher wird, wegen der Herstellungskosten, nur die Leerschicht des OFETs strukturiert. Die Strukturierung kann nur über einen zweistufigen Prozess („Lithographiemethode“ vgl. dazu Applied Physics Letters 73(1), 1998, S.108.110 und Mol.Cryst.Liq. Cryst. 189, 1990, S.221-225) mit zunächst vollflächiger Beschichtung und darauffolgender Strukturierung, die zudem materialspezifisch ist, bewerkstelligt werden. Mit „Materialspezifität“ ist gemeint, dass der beschriebene Prozess mit den genannten photochemischen Komponenten einzig an dem leitfähigen organischen Material Polyanilin funktioniert. Ein anderes leitfähiges organisches Material, z.B. Polypyr-

30

35

rol, lässt sich so nicht ohne weiteres auf diese Art strukturieren.

Die fehlende Strukturierung der anderen Schichten, wie zumindest die der halbleitenden und der isolierenden Schicht aus Funktionspolymeren, führt zu einer deutlichen Leistungssenkung der erhaltenen OFETs, darauf wird aber trotzdem aus Kostengründen verzichtet. Die strukturierte Schicht kann mit anderen bekannten Verfahren (wie z.B. Drucken) nur so strukturiert werden, dass die Länge  $l$ , die den Abstand zwischen Source und Drain Elektrode bezeichnet und damit ein Maß für die Leistungsdichte des OFETs darstellt zumindest 30 bis 50  $\mu\text{m}$  beträgt. Angestrebt werden aber Längen  $l$  von unter 10  $\mu\text{m}$ , so dass außer der aufwendigen Lithographie-Methode momentan keine Strukturierungsmethode sinnvoll erscheint.

Aufgabe der Erfindung ist daher ein kostengünstiges und massenfertigungstaugliches Verfahren zur Strukturierung von OFETs mit hoher Auflösung zur Verfügung zu stellen. Weiterhin ist Aufgabe der Erfindung, einen leistungsstärkeren, weil mit mehr strukturierten Schichten ausgestatteten sowie einen kompakteren OFET zu schaffen, der mit einem geringeren Abstand  $l$  herstellbar ist.

Gegenstand der Erfindung ist ein Organischer Feld-Effekt-Transistor (OFET), zumindest folgende Schichten auf einem Substrat umfassend:

- eine organische Halbleiterschicht zwischen und über zumindest einer Source- und zumindest einer Drain-Elektrode, die aus einem leitenden organischen Material sind,
- eine organische Isolationsschicht über der halbleitenden Schicht und
- eine organische Leiterschicht,

wobei die Leiterschicht und zumindest eine der beiden anderen Schichten strukturiert ist. Außerdem ist Gegenstand der Erfindung ein Verfahren zur Strukturierung eines OFETs durch

Rakeln von zumindest einem Funktionspolymer in eine Negativ-Form. Schließlich ist Gegenstand der Erfindung eine integrierte Schaltung, die zumindest einen OFET, der zumindest eine strukturierte Leiterschicht und eine weitere strukturierte Schicht hat, umfasst.

Als Negativ-Form wird eine strukturierte Schicht oder ein Teil einer strukturierten Schicht bezeichnet, die Vertiefungen enthält, in die das Funktionspolymer, das z.B. eine Elektrode eines OFETs oder eine Halbleiter- oder eine Isolationsschicht bildet, durch Rakeln eingefüllt wird.

Das Verfahren umfasst folgende Arbeitsschritte:

- a) auf einem Substrat oder einer unteren Schicht wird eine, ggf. vollflächige Formschicht, die nicht auf den Bereich, der strukturiert werden soll beschränkt sein muss, aufgebracht. Diese Formschicht ist nicht das Funktionspolymer (also halbleitende, leitende oder isolierende Schicht), sondern ein anderes organisches Material, das als Form oder Klischee für die leitende organische Elektroden-schicht dient. Dieses andere organische Material sollte isolierende Eigenschaften haben.
- b) die Formschicht erhält durch Imprinting (Eindrücken eines Stempelabdrucks mit nachfolgender Aushärtung durch Belichten) Vertiefungen, die den Strukturen entsprechen,
- c) in diese Vertiefungen wird dann das Funktionspolymer flüssig, als Lösung und/oder als Schmelze hineingerakelt.

Die Negativ-Form der Struktur auf der Formschicht kann durch die Imprintmethode, die eine auf dem Gebiet der elektronischen und mikroelektronischen Bauteile ausgereifte Technik darstellt, auf dem Substrat oder einer unteren Schicht erzeugt werden. Das Material der Negativ-Form kann ein UV-härtender Lack sein, der nach Imprinting und Belichten Vertiefungen besitzt.

Dafür geeigneten Lacke sind kommerziell erhältlich und die Methode sie durch Imprinting zu strukturieren, ist literaturbekannt. Allgemein wird bei dem Imprinting auf das ungehärtete Formpolymer, das als Schicht auf dem Substrat oder einer unteren Schicht aufgebracht ist, ein Stempel so eingedrückt, dass Vertiefungen in der Art, wie die Strukturierung erfolgen soll, entstehen. Die mit Vertiefungen versehene Schicht wird dann entweder thermisch oder durch Bestrahlung gehärtet, wodurch die feste Formschicht entsteht, in die das Funktionspolymer eingerakelt werden kann.

Der Vorteil der Rakel-Methode besteht darin, dass die schwierige Strukturierung von Funktionspolymeren durch die eingefahrene und bewährte Imprintmethode vorbereitet wird. Dadurch kann auf einen reichen technischen Hintergrund zurückgegriffen werden und es können extrem feine Strukturen erzielt werden. Die Rakel-Methode ist zudem nicht materialspezifisch. Mit der Rakelmethode kann vielmehr Polyanilin, aber auch jedes andere leitfähige organische Material, wie z.B. Polypyrrol, zur Herstellung von Elektroden eingesetzt werden. Ebenso kann damit jedes andere organische Material wie z.B. Polythiophen als Halbleiter und/oder Polyvinylphenol als Isolator eingerakelt und somit strukturiert werden, also der gesamte OFET.

25

Nach einer Ausführungsform des Verfahrens wird die Negativ-Form nach erfolgter Aushärtung des Funktionspolymers entfernt, so dass ein eventuell durch Verdunstung des Lösungsmittels oder Schrumpfung entstandener Höhenunterschied zwischen Funktionspolymer und Negativ-Form vermindert wird.

30

Ein anderer Ansatz, einen gegebenenfalls entstandenen Höhenunterschied zwischen Negativ-Form und Funktionspolymer zu vermeiden, liegt in der Wiederholung des Einrakelvorgangs, wodurch das Volumen der Negativ-Form einfach weiter aufgefüllt wird.

35

In der Regel kann man die Funktionspolymere weitgehend in ihrer optimalen Konsistenz belassen. So besitzt z.B. Polyanilin als leitfähiges organisches Material bei optimaler Leitfähigkeit eine bestimmte Viskosität. Wenn Polyanilin beispielsweise gedruckt werden soll und nicht eingerakelt, so muss seine Viskosität auf einen der Druckmethode angepassten Wert eingestellt werden. Das bedeutet meistens Einbusse der Leitfähigkeit. Für das Rakeln ist die Viskositätsspanne ungleich größer als für das Drucken, so dass in aller Regel keine Viskositätsänderungen am organischen Material vorgenommen werden müssen.

Schließlich ist ein Vorteil der Rakelmethode die Fähigkeit zu dicken Schichten. So ist z.B. die Leitfähigkeit von 1  $\mu\text{m}$  dicken Polymerelektroden effektiv höher als bei üblicherweise 0,2  $\mu\text{m}$  Schichtdicke. Ein OFET mit einer Schichtdicke im Bereich von bis zu 1  $\mu\text{m}$ , insbesondere im Bereich von 0,3 bis 0,7  $\mu\text{m}$  ist deshalb vorteilhaft.

Als „Funktionspolymer“ wird hier jedes organische, metallorganische und/oder anorganische Material bezeichnet, das funktionell am Aufbau eines OFET und/oder einer integrierten Schaltung aus mehreren OFETs beteiligt ist. Dazu zählen beispielhaft die leitende Komponente (z.B. Polyanilin), die eine Elektrode bildet, die halbleitende Komponente, die die Schicht zwischen den Elektroden bildet und die isolierende Komponente. Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Bezeichnung „Funktionspolymer“ demnach auch nicht polymere Komponenten, wie z.B. oligomere Verbindungen, umfasst.

Als „organisch“ wird hier kurz alles, was „auf organischem Material basiert“ bezeichnet, wobei der Begriff „organisches Material“ alle Arten von organischen, metallorganischen und/oder anorganischen Kunststoffen, die im Englischen z.B. mit „plastics“ bezeichnet werden, umfasst. Es handelt sich um alle Arten von Stoffen mit Ausnahme der klassischen Halbleiter (Germanium, Silizium) und der typischen metallischen Lei-

ter. Eine Beschränkung im dogmatischen Sinn auf organisches Material als Kohlenstoff-enthaltendes Material ist demnach nicht vorgesehen, vielmehr ist auch an den breiten Einsatz von z.B. Siliconen gedacht. Weiterhin soll der Term keiner  
5 Beschränkung auf polymere oder oligomere Materialien unterliegen, sondern es ist durchaus auch der Einsatz von „small molecules“ denkbar.

Als „untere Schicht“ wird hier jede Schicht eines OFETs bezeichnet, auf die eine zu strukturierende Schicht aufgebracht wird. Die Formschicht aus dem Formpolymer schließt an die „untere Schicht“ oder das Substrat an. Das Formpolymer wird hier durch die Bezeichnung „polymer“ auch nicht auf einen polymeren Aggregatzustand festgelegt, vielmehr kann es sich  
15 bei dieser Substanz auch um alle praktisch einsetzbaren Kunststoffe zur Ausbildung einer Negativ-Form handeln.

Im Folgenden wird eine Ausführungsform des Verfahrens noch anhand von schematischen Figuren näher erläutert.

20

Figur 1.1. zeigt das Substrat oder eine untere Schicht 1 auf die die Formschicht der Negativ-Form 2, beispielsweise aus einem Formpolymer wie einem UV-härtbaren Lack, z.B. vollflächig aufgebracht ist. Die Formschicht 2 wird mit einem Prägestempel 4, wie in Figur 1.2. gezeigt, mit Vertiefungen versehen, also es werden in die Formschicht 2 Vertiefungen mit dem Stempel 4, der beispielsweise aus Siliziumdioxid( $\text{SiO}_2$ ) sein kann, eingeprägt. Während der Stempel 4 die Vertiefungen 12 einprägt wird die Formschicht 2 mit UV-Licht bestrahlt, wodurch das Formpolymer 2 unter permanenten Ausbildung der Vertiefungen 12 aushärtet. Dadurch entstehen die Vertiefungen 12 in der Formschicht 2, wie sie in Figur 1.3. gezeigt sind. Der Stempel 4 wird nach beendeter Prägung aus der Formschicht 2 herausgezogen. In die Vertiefungen 12 wird das  
35 Funktionspolymer 8 (z.B. Polyanilin) mit einem Rakel 9 hineingerakelt (Figur 1.4.). In Figur 1.5. erkennt man, wie im



fertigen OFET das Funktionspolymer 8 die Vertiefungen 12 der Formschicht 2 ausfüllt.

Figur 2 zeigt eine weitere Ausführungsform des Verfahrens im  
5 kontinuierlichen Prozess oder kontinuierlichen Rollendruck.

Zu sehen ist das Band aus Substrat oder unterer Schicht 1 mit dem Formpolymer 2, das ein UV-härtbarer, aber auch ein thermisch härtpbarer Lack sein kann. Dieses Band wird nun von links nach rechts, wie durch den Pfeil 13 angedeutet, entlang  
10 mehrerer Andruckrollen 10 verschiedenen Arbeitsschritten unterworfen. Zunächst passiert es das Schattenblech 3, mit dem das noch nicht gehärtete Formpolymer 2 gegen Bestrahlung geschützt wird. Danach werden in das Formpolymer 2 mit Hilfe der Stempelrolle 4 Vertiefungen eingeprägt, die mit der in  
15 der Stempelrolle 4 integrierten UV-Lampe 5 gleich angehärtet werden. Die von 5 ausgehende Pfeilrichtung zeigt die Richtung des Lichtkegels, der von 5 ausgestrahlt wird, an. Das mit Vertiefungen 12 in der Formschicht 2 versehene Band zieht dann unter einer UV-Lampe oder Heizung 6 zur Nachhärtung vorbei, so dass ein strukturierter Lack 7 entsteht. In den  
20 strukturierten Lack 7 mit den Vertiefungen 12 wird dann mit dem Rakel 9 das Funktionspolymer 8 eingerakelt, so dass die fertige Struktur 11 entsteht.

## Patentansprüche

1. Organischer Feld-Effekt-Transistor (OFET), zumindest folgende Schichten auf einem Substrat umfassend:
  - 5 - eine organische Halbleiterschicht zwischen und über zumindest einer Source- und zumindest einer Drain-Elektrode, die aus einem leitenden organischen Material sind,
  - eine organische Isolationsschicht über der halbleitenden Schicht und
  - 10 - eine organische Leiterschicht,wobei die Leiterschicht und zumindest eine der beiden anderen Schichten strukturiert ist.
- 15 2. OFET nach Anspruch 1 mit einem Abstand 1 zwischen Source und Drain Elektrode von kleiner 20  $\mu\text{m}$ , insbesondere von kleiner 10  $\mu\text{m}$  und ganz bevorzugt von 2 bis 5  $\mu\text{m}$ .
3. OFET nach einem der Ansprüche 1 oder 2, der eine Elektrode  
20 mit einer Schichtdicke von 1  $\mu\text{m}$  umfasst.
4. Integrierte Schaltung, die zumindest einen OFET, der zumindest eine strukturierte Leiterschicht und eine weitere strukturierte Schicht hat, umfasst.
- 25 5. Verfahren zur Strukturierung eines OFETs durch Rakeln von zumindest einem Funktionspolymer in eine Negativ-Form.
6. Verfahren nach Anspruch 5, folgende Arbeitsschritte umfassend:
  - 30 a) auf einem Substrat oder einer unteren Schicht wird eine Formschicht für eine Negativform aufgebracht,
  - b) diese Formschicht erhält Vertiefungen, die den Negativen der späteren Strukturen entsprechen und
  - 35 c) in diese Vertiefungen wird dann das Funktionspolymer hineingerakelt.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 oder 6, bei dem die Formschicht nach der Strukturierung entfernt wird.

5 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, bei dem zumindest zweimal das Funktionspolymer in die Vertiefungen der Formschicht eingerakelt wird.

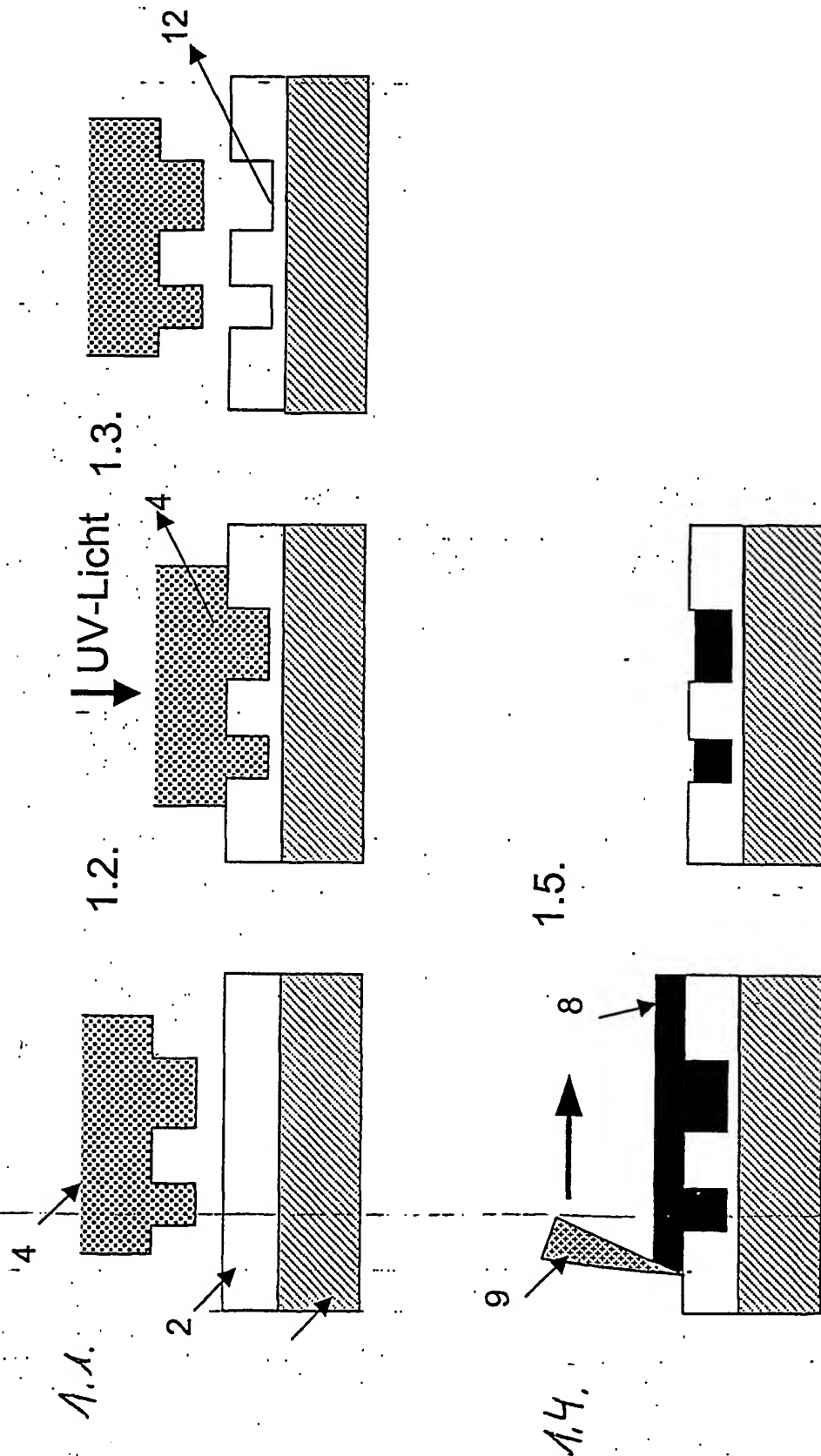
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 8, bei dem die Vertiefungen in der Formschicht durch Imprinting erzeugt werden.  
10

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 9, das als kontinuierliches Verfahren mit einem durchlaufenden Band durchgeführt wird.

1/2

200019494

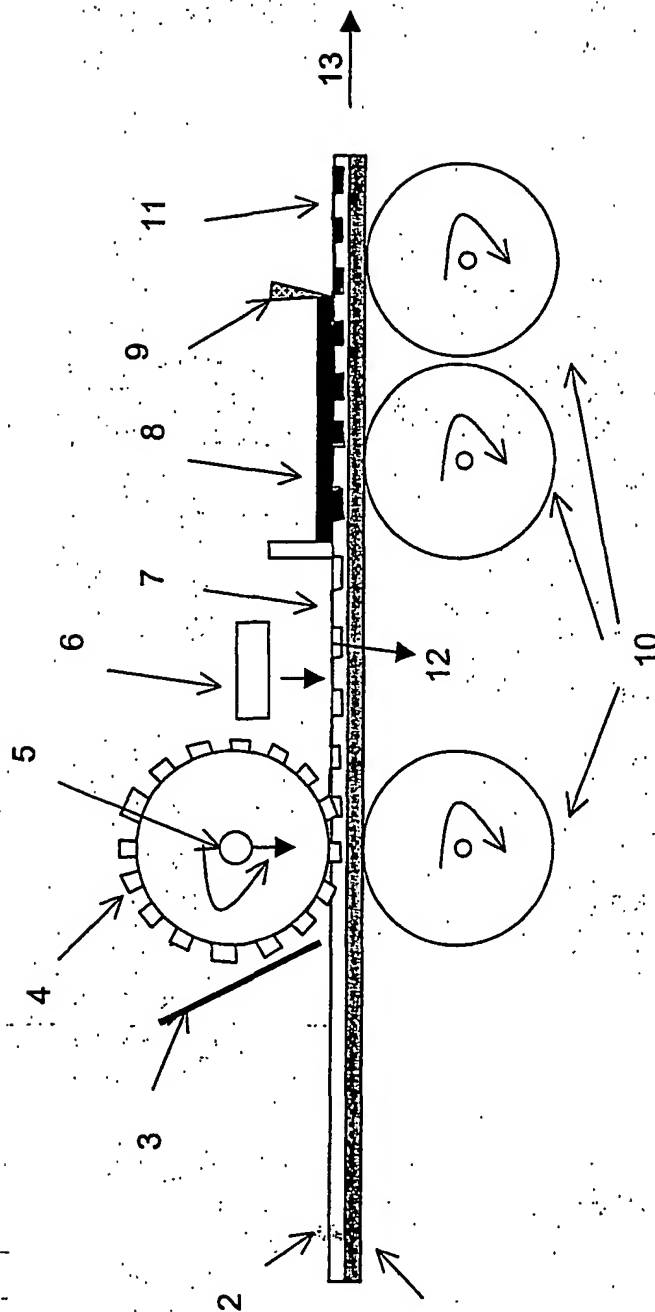
Figur 1)



2/2

200019494

Figur 2)



A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 H01L51/40 B29C37/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 H01L B29C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, INSPEC, PAJ, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 198 51 703 A (INST HALBLEITERPHYSIK GMBH) 4 May 2000 (2000-05-04)	1,4
Y	column 1, line 31 - line 63; figure 3	2,3,5-10
Y	EP 0 962 984 A (LUCENT TECHNOLOGIES INC) 8 December 1999 (1999-12-08) the whole document	2,3,5-10
Y	ROGERS J A ET AL: "PRINTING PROCESS SUITABLE FOR REEL-TO-REEL PRODUCTION OF HIGH-PERFORMANCE ORGANIC TRANSISTORS AND CIRCUITS" ADVANCED MATERIALS, VCH VERLAGSGESELLSCHAFT, WEINHEIM, DE, vol. 11, no. 9, 5 July 1999 (1999-07-05), pages 741-745, XP000851834 ISSN: 0935-9648 page 741, column 1, line 8 - line 31 -/-	2,3,5-10

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*Z\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

12 April 2002

Date of mailing of the international search report

23/04/2002

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Pusch, C

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)		Publication date
DE 19851703	A	04-05-2000	DE	19851703 A1	04-05-2000
EP 0962984	A	08-12-1999	EP	0962984 A2	08-12-1999
			JP	2000029403 A	28-01-2000
			TW	410478 B	01-11-2000
			US	6150668 A	21-11-2000
WO 0219443	A	07-03-2002	DE	10043204 A1	04-04-2002
			WO	0219443 A1	07-03-2002
WO 0079617	A	28-12-2000	AU	5549600 A	09-01-2001
			EP	1192676 A1	03-04-2002
			WO	0079617 A1	28-12-2000

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
E	WO 02 19443 A (BERNDS ADOLF ;FIX WALTER (DE); ROST HENNING (DE); SIEMENS AG (DE);) 7. März 2002 (2002-03-07) Ansprüche 1-8,10	1-8,10
X,P	WO 00 79617 A (SIRRINGHAUS HENNING ;UNIV CAMBRIDGE TECH (GB); WILSON RICHARD JOHN) 28. Dezember 2000 (2000-12-28) Seite 8 -Seite 15; Abbildung 4B	1,2,4